



## 板厚を離散変数とするトラス構造物の最小重量設計に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-03-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 杉本, 博之 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/731">http://hdl.handle.net/10258/731</a>

# 板厚を離散変数とするトラス構造物の最小重量設計に関する研究

杉本博之

## On the Minimum Weight Design of Truss Structures with Discrete Plate Thickness

Hiroyuki SUGIMOTO

### Abstract

Minimum weight design of truss structures with discrete plate thickness is studied. Constraints are referred to Standard Specifications for Highway Bridges of Japan Road Association. Whole optimization procedure is divided into two parts. One is structural level optimization, where the sectional areas and the coordinates of the nodal points are design variables. Another one is sectional level optimization of each member. This sectional level optimization is formulated as the maximum load design. This formulation makes it very easy to treat the plate thickness as discrete values. The procedures to get the solution of sectional level optimization of three kinds of sectional shape are presented for both continuous and discrete variables. They are square box section, H-shape section and stiffened square box section. As numerical example, 31-members continuous truss is designed by the proposed method and the practicality of the proposed method is shown.

### 1. まえがき

トラス構造物の最小重量設計法は、構造最適設計の1分野として、外国はもとより国内においても幅広く研究されて来た<sup>1) 2) 3) 6)</sup>。

一方、実際の設計はコストミニマムを指向してなされるという理由により、最小重量設計法の実用性が疑問視されることもある。トラス構造物の各部材の設計において、設計者は断面形状、鋼種、断面寸法等を決定しなければならない。これらは種々の価値基準により決定されるが、前2者の決定と後者の決定のための価値基準は、完全には分離できないまでも若干異なると思われる。つまり、前2者はコストを強く意識して決定されるのに対して、後者の断面寸法は、許容される設計を得ることを第1の目的とし、例えば応力度に関しては許容応力度に近い設計が望まれる。一般にこれは、設計者の想像性を必要としない単純なルーチンワークであるが、基本的には最も原始的な形の最小重量設計の定式化と考えられ、これを本論文のような一般的な最小重量設計として定式化することにより、設計全体の質、効率が向上するものと思われる。

トラス構造物の最小重量設計においては、一般に設計変数は連続変数として扱われ離散変数と

されることは少ない。実際の構造物は、既製形鋼か組合せ部材から構成されるが、前者はそもそも離散値であるし、後者においては、組合わせる板の厚さが離散値である。最小重量設計法を実設計の意思決定の一部にでも使おうとする時は、これらの離散性を考慮した方法が必要であるが、トラス構造物の最小重量設計において、既製形鋼の使用に関する研究はある<sup>4)</sup>が板厚の離散性を考慮した研究はない。

トラス構造物の最小重量設計は、大久保<sup>1)</sup>、小西等<sup>3)</sup>の研究のように2段階方式で行われるのが一般であり、それぞれ限られた範囲で成功している。また、筆者の1人はすでに、部材断面レベルの最適化に最大荷重設計法<sup>5)</sup>を応用することにより、比較的容易に多くの断面形状および鋼種を扱えるようになることを示した<sup>7)</sup>。さらにその後の研究により、2段階方式としての定式化が整理され、板厚を離散変数として扱うことが可能になった。ここでは、離散変数は、部材断面レベルの最適化内だけで処理でき、構造レベルの最適化における設計変数は、依然として連続量であるという特徴がある。

以下に2段階方式の最小重量設計の基本的な理論、3種類の断面形状の部材断面レベルの最適化および計算例等を説明する。

部材断面レベルの最適化においては、まず連続変数としての解が説明され、次にその最適性の検討より、板厚を離散値とする場合の考え方が示されている。

数値計算例においては、31部材の2径間連続トラスの設計が、数種類の条件下でなされ、詳細な結果が示されている。また、マン—マシン系による設計の中での最小重量設計法の役割についても考察が加えられている。

なお、本論文の方法は、最適化に一般的な数理計画法を用いる場合はもとより、双対理論等により最適化を行なう<sup>2)</sup>場合にも応用できるものである。

## 2. トラス構造物の最小重量設計の定式化

部材断面寸法および格点座標を設計変数とするトラス構造物の最小重量設計は、一般に次のように定式化される。これを、原問題とする。

$$\text{目的関数} \quad ; \quad W = \sum_{i=1}^n \rho \cdot l_i(|Z|) \cdot A_i(|s|_i) \rightarrow \min \quad (1)$$

制約条件式 ;

- 応力度に関する制約条件式

$$g_\sigma = P_i/A_i - \sigma_{ai}(|s|) \leq 0 \quad ; \quad i=1 \sim n \quad (2)$$

- 断面寸法の幾何的關係に関する制約条件式

$$t_i \geq \max(b_i/K, 0.8) \text{ (cm)} ; i=1 \sim n \quad (3)$$

- たわみに関する制約条件式

$$g_\delta = \delta - \sigma_a \leq 0 \quad (4)$$

設計変数 :  $\{S\} = [\{s\}_1, \{s\}_2, \dots, \{s\}_n], \{Z\}$

ここで、 $W$  ; 構造物の総重量、 $\rho$  ; 単位体積重量、 $l_i$  ;  $i$ 部材の部材長、 $\{Z\}$  ; 格点座標に関する設計変数ベクトル、 $A_i$  ;  $i$ 部材の断面積、 $\{s\}_i$  ;  $i$ 部材の断面寸法に関する設計変数ベクトル、 $n$  ; 部材数、 $g_\delta$  ; 応力度に関する制約条件式、 $P_i$  ;  $i$ 部材の軸力、 $\sigma_{ai}$  ;  $i$ 部材の許容応力度、 $t_i$  ;  $i$ 部材の板厚、 $b_i$  ;  $i$ 部材の板幅、 $K$  ; 両端の拘束条件および鋼種により定められる定数、 $g_\delta$  ; たわみに関する制約条件式、 $\delta$  ; たわみ量、 $\delta_a$  ; 許容たわみ量、 $\{S\}$  ; 全部材の断面寸法に関する設計変数ベクトルである。

### 3. 2段階最適化による最小重量設計

前節で定義した原問題をそのまま解くことは、理論的には可能であるが、設計変数および制約条件式の数が多くなり実用的でない。これらは、構造レベルおよび部材断面レベルの最適化より構成されると考えられるので、以下に説明する2段階最適化により最小重量設計を行う。これにより、構造レベルの最適化の設計変数および制約条件式の数を大幅に少なくできる。最適化の過程で要求される目的関数および制約条件式の微係数は、差分で計算されるのが実用的であるので、設計変数の数を減らすことによる効率化への効果は大きい。

以下に、構造レベルの最適化の定式化、部材断面レベルの最適化の定式化および2段階最適化によるトラス構造物の最小重量設計の構成について説明する。

#### (1) 構造レベルの最適化

2段階最適化においては、構造レベルの最適化は、以下のように定式化される。

$$\text{目的関数} : W = \sum_{i=1}^n \rho \cdot l_i(\{Z\}) \cdot A_i \rightarrow \min \quad (5)$$

制約条件式 :

- 応力度に関する制約条件式

$$g_\delta = P_i/A_i - \sigma_{ai}(A_i) \leq 0 ; i=1 \sim n \quad (6)$$

- たわみに関する制約条件式

$$g_o = \delta - \delta_a \leq 0 \quad (7)$$

設計変数 :  $\{A\}$

ここで、 $\{A\}$  は部材断面積に関する設計変数ベクトルである。

この構造レベルの最適化を原問題と比較すると、設計変数は部材断面寸法から部材断面積へと縮小され、原問題の制約条件式(3)を考慮する必要がなくなっている。

この構造レベルの最適化の過程においては、式(5)~(7)の関数値が必要となる。これらの内、式(5)、(7)および式(6)の第1項の計算は問題ないが、式(6)の $\sigma_{ai}$ の値は、次に説明する部材断面レベルの最適化により計算される。

## (2) 部材断面レベルの最適化

部材断面レベルの最適化は、各部材毎に行われる。

圧縮部材において、許容応力度が部材断面寸法の関数であり、許容応力度と部材断面積の関係が、正方形箱形断面柱のように既知(連続変数)<sup>1)6)</sup>でない場合に、以下に定式化される問題を解く必要がある。引張部材(許容応力度は一定値)あるいは、引張、圧縮に関係なく許容応力度が一定の場合は解く必要はないが、この場合は後記の、関係式が既知の場合とみなすことができる。

$i$ 部材の部材断面レベルの最適化は、構造レベルの最適化から与えられる部材断面積 $A_i$ および部材長 $l_i$ のもとで、許容応力度を最大にする断面寸法の決定という問題(これをSPとする)で、以下のように定式化される。

$$\text{目的関数 : } \sigma_{ai}(\{S\}_i) \rightarrow \max \quad (8)$$

制約条件式 :

- 部材断面積が構造レベルから与えられる値である

$$A_i \rightarrow \text{given} \quad (9)$$

- 断面寸法の幾何学的関係に関する制約条件式

$$l_i \geq \max(b_i/K, 0.8) \text{ (cm)} \quad (10)$$

設計変数 :  $\{s\}_i$

これらは、長谷川等<sup>5)</sup>の最大荷重設計の問題となり、式(9)により設計変数の数が1減るなど、

規模の小さい最適化問題であるので、効率良く精度の高い解を得ることができる。

また、板厚を設計変数として残し、それらの離散値のみの組合せの中から上記のSPの解を求めることができる。この時、すでに研究されている許容軸方向圧縮応力度と断面寸法の関係<sup>8)9)</sup>を利用することにより、より効率的に解を求めることができる。3種類の断面形状の最適化の例を次節で説明する。

(3) 2段階最適化によるトラス構造物の最小重量設計の構成

2段階最適化による、部材の断面寸法および格点座標を設計変数とするトラス構造物の最小重量設計の流れ図を図-1に示した。

全体が構造レベルの最適化と考えられ、それは最適マイザー (Optimizer, 実線で囲まれた部分)、構造解析 (Structural Analysis) および部材断面レベルの最適化 (Sectional level optimization, 点線で囲まれた部分) より構成される。

最適マイザーからは、設計変数の値が出力され、目的関数および制約条件式の値が入力される。これは、感度解析が差分で行われる (より実用的である) ことを想定しているが、解析的に行われる場合でも基本的な構成は変化しない。また、最適マイザーの中身は一般的な数理計画法でも最適性規準法でも、あるいは双対定理を用いる方法でも、この構成は同一である。

部材断面レベルの最適化は、許容応力度と部材断面積の関係式 $\xi$ が既知の場合と未知の場合とに分かれている。

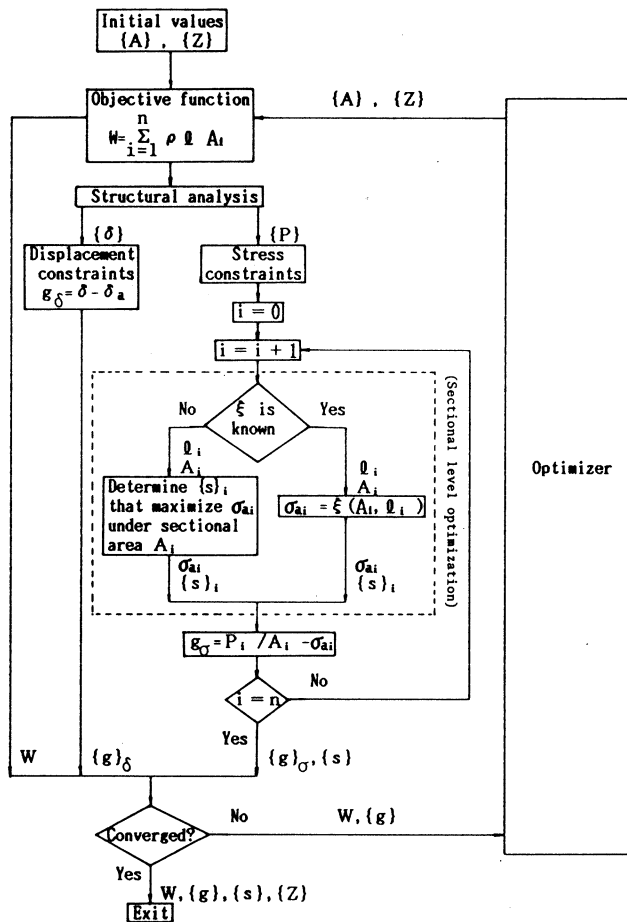


図-1 トラス構造物の最小重量設計の流れ図

#### 4. 板厚を離散変数とする部材断面レベルの最適化

ここでは、正方形箱形、H形および補剛された正方形箱形の3種類の断面形状の、道路橋示方書<sup>10)</sup>に従う部材断面レベルの最適化について説明する。

離散変数としての最適な板厚は、連続変数としての解を基準にして求めているので、まず最初にすべての断面寸法が連続変数である場合の解を説明し、次に板厚が離散変数の場合の求め方を説明する。

なお以下において、 $t^0$ を連続変数として得られた最適板厚（実際には、局部座屈の影響を考慮する必要のない最小板厚）とすると、 $\tilde{t}^-$ は $t^0$ より小さく $t^0$ に最も近いmm単位の離散値であり、 $\tilde{t}^+$ は $t^0$ より大きく $t^0$ に最も近いmm単位の離散値である。

表-1 各鋼種における $k_i$ の値

	SS41	SM50	SM53	SM58
$k_1$	39.6	34.0	32.4	29.1
$k_2$	13.1	11.2	10.7	9.6
$k_3$	28	24	22	22

$$\tilde{t}^- \geq t^0 \geq \tilde{t}^+ \tag{11}$$

の関係がある。

表-1は、道路橋示方書に定められている各定数で、それぞれ後で用いられる。

##### (1) 正方形箱形断面

図-2の正方形箱形断面の場合は、式(9)により設計変数は $t$ のみとなる。この時、 $\sigma_{ca}$ （許容軸方向圧縮応力度）と $t$ の関係は図-3のようになり、SPの最適値 $t^0$ は次式となる。

$$(i) \quad 2.56 \leq A \leq 2.56(1+k_1);$$

$$t^0 = 0.8 \text{ (cm)} \tag{12}$$

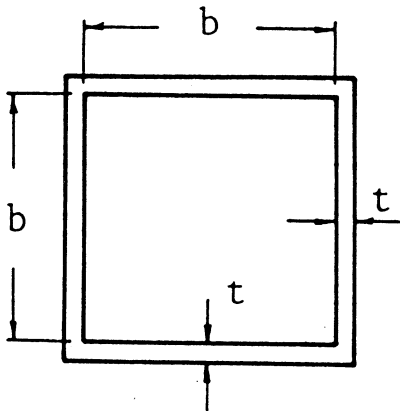


図-2 正方形箱形断面

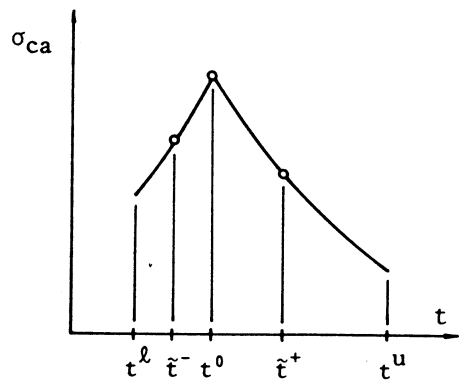


図-3  $\sigma_{ca} - t$ の一般的な関係

(ii)  $2.56 < A$ ;

$$t^0 = \sqrt{A/2\sqrt{1+k_1}} \text{ (cm)} \quad (13)$$

板厚が離散変数の場合の SP の解は、図-3 より明らかに  $t^-$  あるいは  $t^+$  である。両者に対応する  $b$  および  $\sigma_{ca}$  をそれぞれ計算し、 $\sigma_{ca}$  の大きい方に対応する断面寸法が解となる。

鋼材が SM50 の場合の  $\sigma_{ca}$  と部材断面積の関係を図-8 a (連続変数)、図-8 b (離散変数) に示した。

(2) H 形断面

図-4 の H 形断面の場合は、4 つの断面寸法よりなるが、式(9)を考慮して、設計変数を  $t_f$ 、および  $t_w$  および  $\alpha$  の 3 つとする。 $\alpha$  はフランジ断面積と部材断面積の比で次式である。

$$\alpha = Af/A \quad (14)$$

ここで、 $Af$  はフランジ断面積である。

H 形断面に関する SP の最適解の板厚は、それぞれ局部座屈の影響を考慮する必要のない最小の値である<sup>8)9)</sup>ので、

$$t_w = \max(\sqrt{(1-\alpha)A/k_1}, 0.8) \text{ (cm)} \quad (15)$$

$$t_f = \max((-t_w + \sqrt{t_w^2 + 4k_2 \alpha A})/4k_2, 0.8) \text{ (cm)} \quad (16)$$

のようにそれぞれ板厚を表すと、 $\alpha$  のみが SP の変数となり、黄金分割法等の 1 次元最適化手法

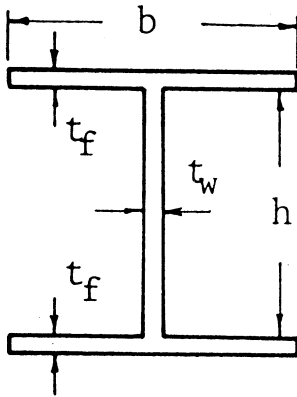


図-4 H 形断面

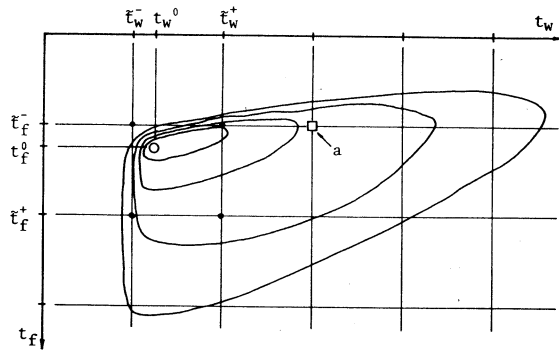


図-5 H 形断面の  $\sigma_{ca}$  の等高線



により最適な $\alpha$ を決定できる。 $\alpha$ の最適値が求まると、式(15)、式(16)より $t_w^0$ 、 $t_f^0$ が得られる、それらに対応する板幅、 $\sigma_{ca}$ 等が計算される。

種々の $t_f$ と $t_w$ の値の組合せに対して、 $\sigma_{ca}$ の最大値を計算し、 $\sigma_{ca}$ の等高線を描くと一般的に図-5のようになる。 $(t_f^0, t_w^0)$ を頂点とする等高線となるが、それぞれの板厚のマイナスの方向に急に下り、プラスの方向には緩やかに下っている。

この結果、板厚を離散値とする場合は、図に $\bullet$ で示した $\tilde{t}_f^-$ 、 $\tilde{t}_f^+$ と $\tilde{t}_w^-$ 、 $\tilde{t}_w^+$ のそれぞれ4つの組合せに対して $\sigma_{ca}$ を計算し、最大の $\sigma_{ca}$ に対応する板厚の組合せを最適値とすることができる。部材断面積の大きい場合(例えば500cm<sup>2</sup>)に、図-5のa点の $\sigma_{ca}$ の方が大きい場合もあったが、 $\sigma_{ca}$ の誤差は1%以下であり、実用上は上記の4点の比較で十分と思われる。

正方形箱形断面の場合と同様に、鋼材がSM50の場合の $\sigma_{ca}$ と部材断面積の関係を図-9a(連続変数)、図-9b(離散変数)に示した。

(3) 補剛された正方形箱形断面

図-6の補剛された正方形箱形断面の最適化においては、補剛材の断面は道路橋示方書の条件(Ⅱ 鋼橋編 3.2.4)を満足する最小の断面を用いれば良い<sup>11)</sup>ので、基本的な考え方は正方形箱形断面の場合と同じである。

全補剛材の断面積を $A_s$ 、 $A' = A - A_s$ とすると、局部座屈の影響を考慮する必要のない最小の板厚 $t^0$ は次式で表される。

$$(i) A' \leq 2.56(1 + Nsk_3)$$

$$t^0 = 0.8 \text{ (cm)} \tag{17}$$

$$(ii) 2.56(1 + Nsk_3) < A'$$

$$t^0 = \sqrt{A' / 2} \sqrt{1 + Nsk_3} \text{ (cm)} \tag{18}$$

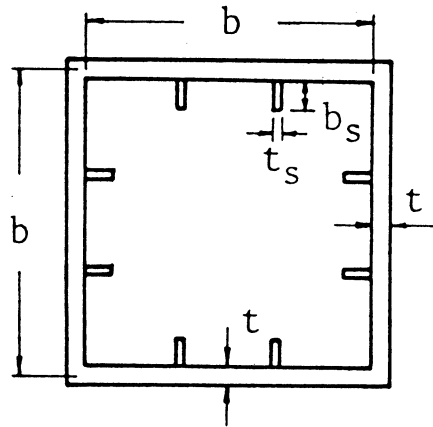


図-6 補剛された正方形箱形断面

ただし、補剛材の断面は $b$ 、 $t$ の値に影響されるので、 $t^0$ の決定は繰り返し計算になる。なお、 $Ns$ は補剛材によって区切られるパネル数である。

正方形箱形断面の場合は、 $t^0$ がSPの最適値となったが、無補剛平板と補剛平板とでは局部座屈に対する許容応力度の公式が異なるので、この場合は必ずしも $t^0$ が最適値とならない。

この問題に関しては、長谷川等<sup>8)</sup>の研究もあるが、本論文では、4種類の鋼種、 $Ns = 2 \sim 5$ の4種類のパネル数、1~15mの15種類の部材長、100~1000cm<sup>2</sup>(50cm<sup>2</sup>きざみ)の19種類の部材

断面積のすべての場合せ4560ケースにおいて、 $t^0$ とその近傍の板厚に対応する $\sigma_{ca}$ の検討を行った。その結果、SM50以上の鋼種の $N_s = 2$ 、 $L = 13 \sim 15$ m、 $A = 150 \sim 250$ cm<sup>2</sup>の数ケースのみにおいて、 $t^0$ に対応する $\sigma_{ca}$ が最大値でなかった（SPの最適解でない）。さらに詳細に検討するために、上記の条件の内、部材断面積の範囲を100~300cm<sup>2</sup>（10cm<sup>2</sup>きざみ）の21種類に変更し同様の計算を行った。これらの5040ケースの内、 $t^0$ に対応する設計が最適とならなかった場合を示したのが図-7である。 $N_s = 3$ 以上ではわずかに2ケースだったので、 $N_s = 2$ の結果のみを示してある。SS41では、すべてのケースにおいて $t^0$ が最適値であった。図の点の種類は、 $\sigma_{ca}$ の最大値と、 $t^0$ に対応する $\sigma_{ca}$ との差の程度による分類で、 $\cdot$ は0~1%、 $\circ$ は1~2%、 $\bullet$ は2%以上の誤差に対応している。最大の誤差は2.3%であった。

以上より、 $t^0$ がSPの最適値とならないのは、高強度の鋼材で、部材長が長く、かつ限られた部材断面積の範囲のみであり、許容応力度の誤差も高々2%であるので、式(18)の $t^0$ を最適値としても実用上は問題がないと考えられる。

また、上記の $t^0$ の最適性の検討の結果、 $t^0$ が最適とならない場合でも、最大の $\sigma_{ca}$ を与える板厚はすべて $t^0$ から1mm以内の範囲にあった。この結果、板厚を離散値とする場合は、 $t_t^-$ および $t_t^+$ の $\sigma_{ca}$ を計算し、その値の大きい方の設計をSPの解とすることができる。

このようにして求められた $\sigma_{ca}$ と部材断面積の関係の1例（鋼材がSM50、 $N_s = 2$ の場合）を、図-10a（連続変数）、図-10b（離散変数）に示した。

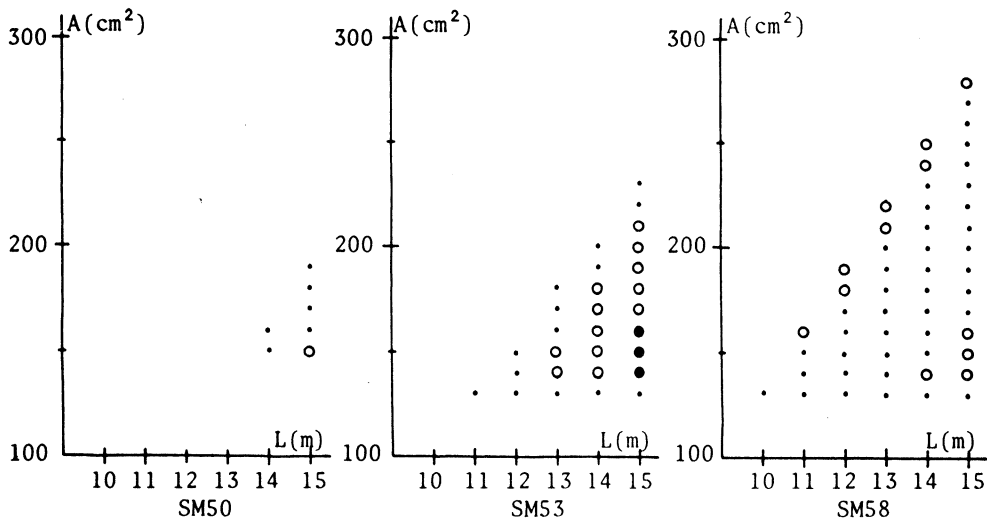


図-7  $t_t^0$ と $t_w^0$ に対する $\sigma_{ca}$ が最大にならないLとA

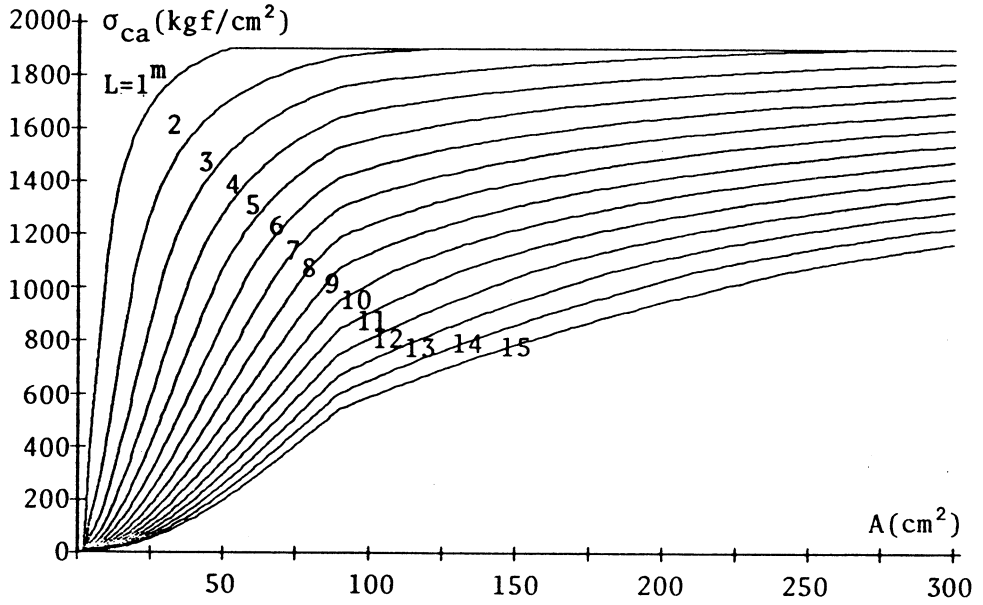


図-8 a 正方形箱形断面の  $\sigma_{ca}-t$  (連続変数)

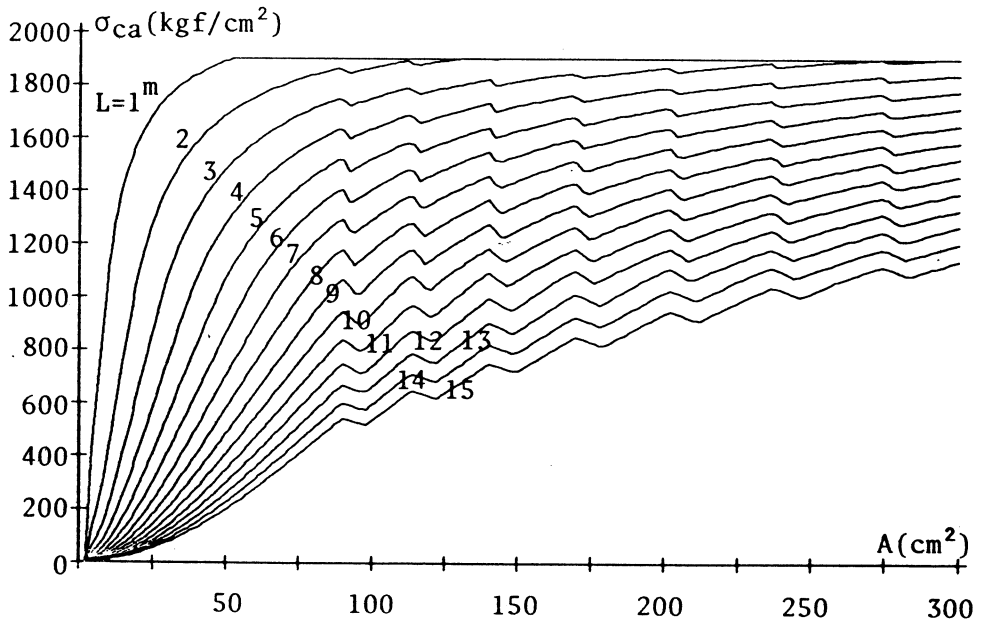


図-8 b 正方形箱形断面の  $\sigma_{ca}-t$  (離散変数)

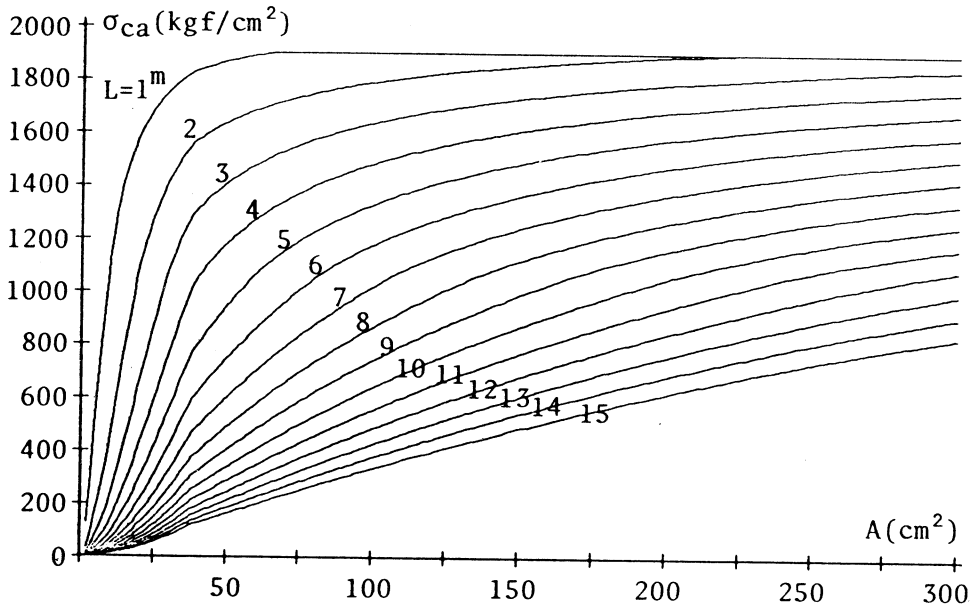


図-9 a H形断面の  $\sigma_{ca}-t$  (連続変数)

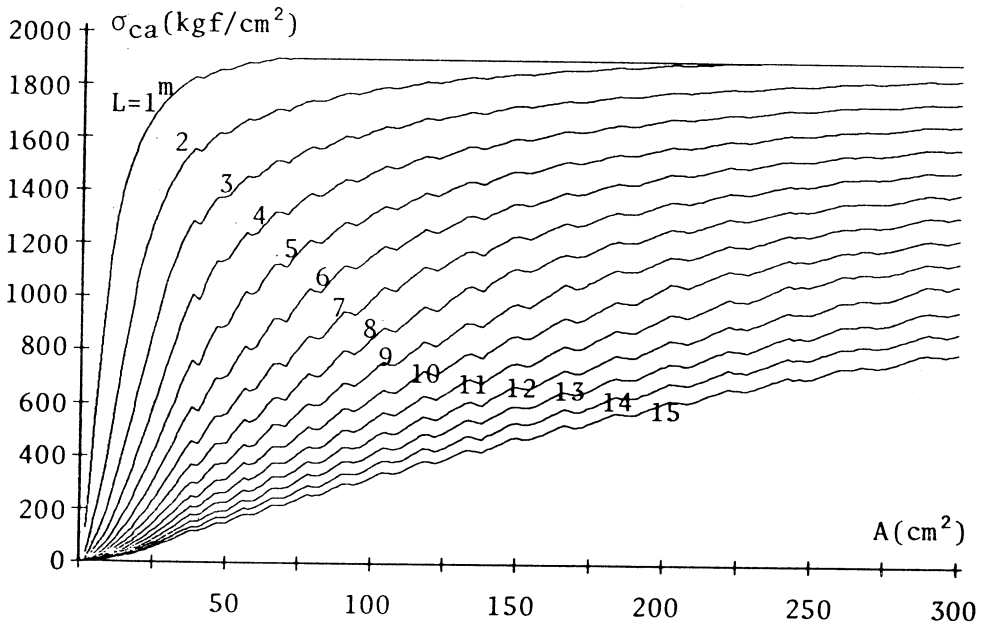


図-9 b H形断面の  $\sigma_{ca}-t$  (離散変数)

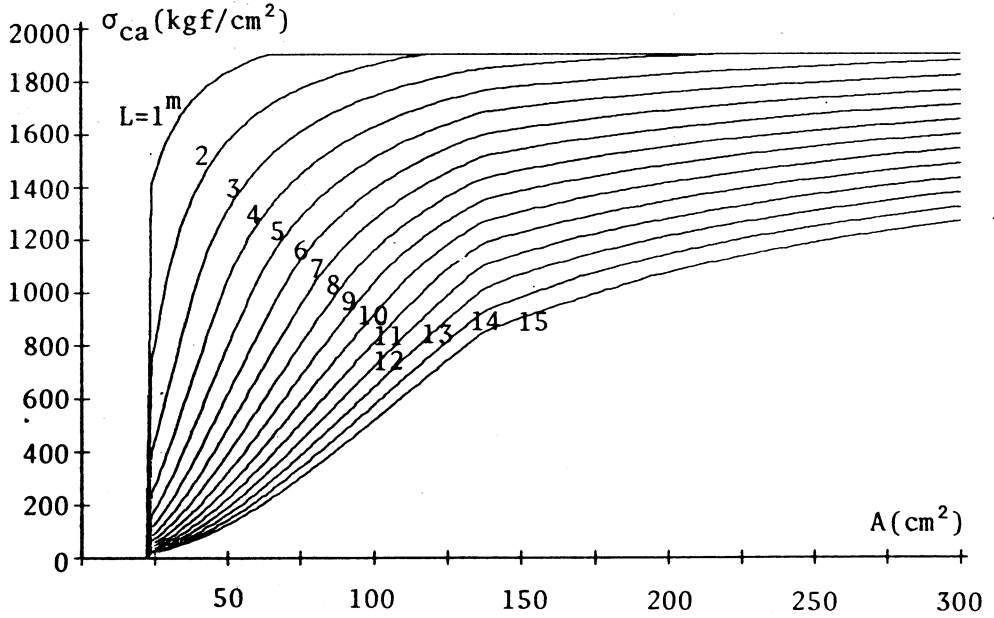


図-10a 補剛された正方形箱形断面の $\sigma_{ca}-t$  (連続変数)

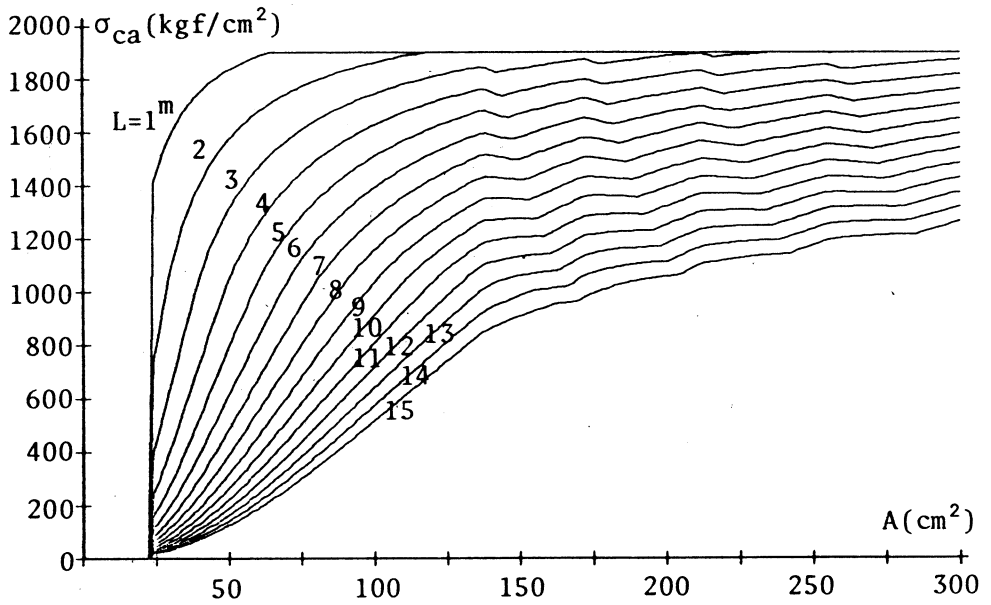


図-10b 補剛された正方形箱形断面の $\sigma_{ca}-t$  (離散変数)

### 5. 数値計算例および考察

本論文の方法の計算例として、図-11に示す31部材の2径間連続トラスの設計を示す。幾何的  
形状および荷重条件は図に示した通りである。

部材に付した数字は、設計変数の番号であり、上・下弦材、腹材共にそれぞれ3種類の断面よ  
り構成されている。部材断面積に関する設計変数の数は9ということになる。最初は、主構高さ  
Hを含めた10変数で最小重量設計を行い、次に、得られたHの値の近傍の10cmきざみのHの値  
に対応する9変数(部材断面積のみ)の最小重量設計を行い、最も鋼重の少ない設計を、与えら  
れた鋼材と部材断面形状における最小重量設計の結果とした。

各部材の鋼材と断面形状の組合せは4種類考慮した。それらを表-2に示したが、設計(a)は全  
部材 SS41 の正方形箱形断面であり、設計(b)では、(a)の結果を参考にして、設計変数 1, 2, 4,  
5, 8, 9 に対応する部材の鋼種を SM50とした。さらに設計(c)では、(b)の設計変数 2, 9 に対  
応する部材の断面形状を H 形断面とした。

これらは、Powell の逐次 2 次計画法<sup>14)</sup>で解かれた。本論文で行われた数値計算の範囲では、  
板厚を離散値とすることにより収束性が悪くなるということではなかった。

最小重量設計による各設計の結果の、総容積(V)、各設計変数に対応する部材の断面積、断面寸  
法、H の値を表-3に示した。各設計において、左が連続変数として計算した場合の結果であり、  
右が板厚を離散変数とした場合の結果である。

離散変数の場合の方が、連続変数の場合より目的関数の値は大きい。また、(a)よりも(b)、(b)よ  
りも(c)の方が目的関数の値は少なく、(d)は(b)と同程度であった。しかし、本論文の目的は、各部  
材の鋼種と断面形状が仮定された時に、断面寸法を決定するための最小重量設計法の理論であり、  
最も鋼重の少ない(c)をもって最適設計というものではない。(a)~(d)以外にも、鋼種、断面形状の  
組組合せは可能であり、それらはすべて実行  
可能な設計である。それらの内、どの設計を  
採用するかは、設計者の判断、価値基準で決  
められるものであり、例えば、コストの最も  
少ない設計とか、最も鋼重の大きい設計を採  
用することもできる。

本論文においては、設計作業がマン-マシ  
ン系でなされ、部材断面寸法はコンピュ  
ータを用いて最小重量設計法でなされ、鋼種お  
よび断面形状の決定は、設計者によりなされる  
ことを想定している。

表-2 各設計における鋼種と形状の組合せ

design	(a)		(b)		(c)		(d)		
	member	kind	shape	kind	shape	kind	shape	kind	shape
1	SS41	SQ	SM50	SQ	SM50	SQ	SM50	SQ	SQ
2	SS41	SQ	SM50	SQ	SM50	SS	SM50	SS	SS
3	SS41	SQ	SS41	SQ	SS41	SQ	SS41	SQ	SQ
4	SS41	SQ	SM50	SQ	SM50	SQ	SM50	SQ	SQ
5	SS41	SQ	SM50	SQ	SM50	SQ	SM50	SQ	SQ
6	SS41	SQ	SS41	SQ	SS41	SQ	SS41	SQ	SQ
7	SS41	SQ	SS41	SQ	SS41	SQ	SS41	H	H
8	SS41	SQ	SM50	SQ	SM50	SQ	SM50	SQ	SQ
9	SS41	SQ	SM50	SQ	SM50	SS	SM50	SS	SS

SQ : square box section  
SS : stiffened square box section  
H : H-shape section

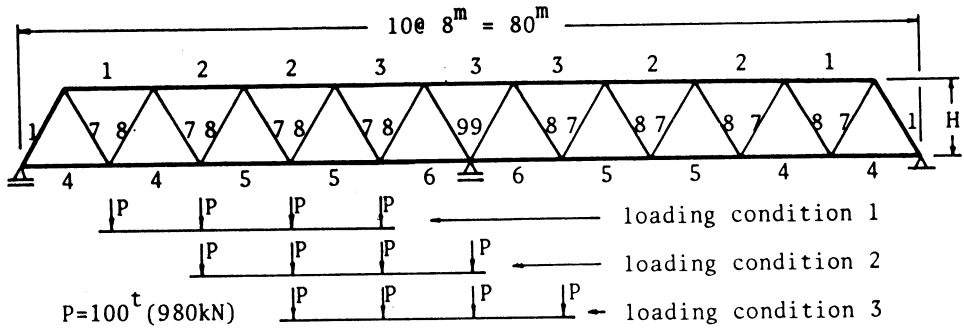


図-11 31部材連続トラス

表-3 最小重量設計の結果

design	(a)		(b)		(c)		(d)		
	cont.	disc.	cont.	disc.	cont.	disc.	cont.	disc.	
V (m <sup>3</sup> )	5.4117	5.4239	4.5034	4.5363	4.4680	4.4866	4.4977	4.5396	
1	A (cm <sup>2</sup> )	174.50	177.83	148.17	152.45	148.46	153.21	147.17	150.76
	b (cm)	41.07	39.32	34.99	33.55	35.03	33.72	34.87	33.16
	t (cm)	1.04	1.10	1.03	1.10	1.03	1.10	1.02	1.10
2	A (cm <sup>2</sup> )	228.18	217.51	186.30	185.20	177.48	172.12	185.51	192.99
	b (cm)	46.96	44.11	39.24	37.38	43.83	43.09	44.84	43.42
	t (cm)	1.18	1.20	1.15	1.20	0.91	0.90	0.93	1.00
b <sub>s</sub> (cm)					4.38	4.30	4.51	4.79	
					0.80	0.80	0.80	0.80	
3	A (cm <sup>2</sup> )	112.59	110.67	106.15	104.04	104.91	102.56	108.82	114.03
	b (cm)	32.99	29.84	32.03	31.71	31.84	31.25	32.43	30.77
	t (cm)	0.83	0.90	0.81	0.80	0.80	0.80	0.82	0.90
4	A (cm <sup>2</sup> )	169.57	158.64	121.95	118.76	120.27	115.84	126.90	130.38
	b (cm)	40.49	38.66	31.75	28.69	31.53	31.28	32.38	31.59
	t (cm)	1.02	1.00	0.93	1.00	0.93	0.90	0.95	1.00
5	A (cm <sup>2</sup> )	191.34	179.11	136.82	133.32	135.02	130.06	142.26	146.05
	b (cm)	43.01	39.61	33.63	32.33	33.40	31.52	34.29	32.09
	t (cm)	1.08	1.10	0.99	1.00	0.98	1.00	1.01	1.10
6	A (cm <sup>2</sup> )	103.44	98.82	108.05	109.60	106.84	103.12	112.68	118.37
	b (cm)	31.52	30.08	32.32	29.54	32.14	31.42	33.00	31.98
	t (cm)	0.80	0.80	0.82	0.90	0.81	0.80	0.83	0.90
7	A (cm <sup>2</sup> )	144.81	142.72	143.05	142.24	142.58	141.58	147.85	148.62
	b (cm)	37.41	34.68	37.19	34.56	37.12	34.40	41.69	41.04
	t (cm)	0.94	1.00	0.94	1.00	0.94	1.00	1.56	1.60
h (cm)							22.03	21.64	
							0.80	0.80	
8	A (cm <sup>2</sup> )	180.93	178.29	133.88	133.05	133.51	132.27	135.24	136.39
	b (cm)	41.82	39.42	33.26	32.26	33.22	32.07	33.43	33.10
	t (cm)	1.05	1.10	0.98	1.00	0.98	1.00	0.98	1.00
9	A (cm <sup>2</sup> )	211.42	214.46	179.25	183.29	172.42	173.21	172.02	171.94
	b (cm)	45.23	43.52	38.51	36.99	43.21	43.43	43.16	43.09
	t (cm)	1.14	1.20	1.13	1.20	0.90	0.90	0.90	0.90
b <sub>s</sub> (cm)					4.30	4.30	4.30	4.30	
					0.80	0.80	0.80	0.80	
H (cm)	730	780	740	760	750	780	710	690	

一方、コストを目的関数とし、鋼種を設計変数に含める最適設計法の研究もなされている<sup>12) 13)</sup>が、コストの定式化が合理的になされれば、これらの方法も有効である。

## 6. 結論およびあとがき

組合せ部材よりなるトラス構造物の、板厚を離散変数とする最小重量設計法について説明した。本論文より得られた事項を簡条書にすると、以下のようになる。

- (1) トラス構造物の最小重量設計が、構造レベルの最適化と部材断面レベルの最適化の2段階よりなるとし、その構成(図-1)を明確にした。
- (2) 部材断面レベルの最適化を部材断面積一定(構造レベルから与えられる)のもとで許容応力度を最大にするという最大荷重設計として定式化した。

この定式化の結果、板厚を離散変数とすることが、きわめて容易になった。

- (3) すでに得られている正方形箱形、H形断面以外に、補剛された正方形箱形断面の部材断面レベルの最適化について、多くの数値計算を行い考察を加えた。

これらの最適性の検討により、板厚を離散値とする場合の部材断面レベルの最適化の最適値を求める方法を示した。

- (4) 本論文の2段階方式による最適設計においては、部材断面レベルの最適化の効率が、全体の効率に占める割合は大きい。しかし、本文で説明した3種類の断面形状のための方法は、それぞれ十分効率的なものであり、他の種類の断面形状(例えば、内幅が拘束された箱形断面等)においても、同様な方法を導くことができる。
- (5) 31部材よりなる2径間連続トラスの最小重量設計の例を示した。そこでは、4種類の鋼種と断面形状の組合せを与え、それぞれにおいて実行可能な解が得られることを示した。

まえがきにも記したように、本論文における最小重量設計法は、実行可能な断面寸法を得るためのより合理的な意思決定手法として位置付けられており、どのような鋼種と断面形状の組合せを試みるかは、設計者の想像性と高度に蓄積された経験によるものであり、それらの内のどの設計を最適設計とするかは、設計者自身の価値判断によるものである。その設計者の意思決定を支援するシステムの一部として、最小重量設計法および本論文の方法は実用性があると思われる。

本論文の計算は、室蘭工業大学情報処理計算センターのFACOM M170を使用した。

## 参考文献

- 1) 大久保禎二：トラス構造物の最適設計法に関する研究，土木学会論文報告集，第177号，pp. 9～19，1970.
- 2) Ohkubo, N. and T. Nakajima：OPTIMUM STRUCTURAL DESIGN WITH ELEMENT MATERIAL SELECTION, Proc. of the First Asian Conf. on Structural Eng. & Const., pp. 1986～1996, Jan., 1986.



杉 本 博 之

- 3) Konishi, Y. and Y. Maeda : Optimum Design of Trusses Using Suboptimization, JSCE, No. 333, pp. 173~181, 1983.
- 4) 菊田征勇・松井邦人・新延泰生：規格材料を部材とする構造物の最適設計，土木学会第41回年次学術講演概要集，1986.
- 5) Hasegawa, A., W. B. Hall and N. C. Lind : Maximum Load Design of Cold-Formed Steel Channel Beams, ASCE, Vol. 104, No. ST7, pp. 1093~1107, 1978.
- 6) 杉本博之：トラス構造物の実用的最適設計に関する研究，土木学会論文報告集，第208号，pp. 23~31, 1972.
- 7) 杉本博之：任意形状の断面よりなるトラス構造物の最小重量設計，構造工学における数値解析法シンポジウム論文集，pp. 251~256, 1985.
- 8) 長谷川彰夫・安保秀範・M. Mauroof・西野文男：局部座屈を考慮した鋼圧縮部材の最適断面特性，土木学会論文集，第356号／I-3，pp. 121~129, 1985.
- 9) 杉本博之：無補剛平板よりなる圧縮柱の設計について，構造工学論文集，Vol. 31A, pp. 93~102, 1985.
- 10) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編，丸善株式会社，1980.
- 11) 宇佐美勉・寺尾圭史：鋼圧縮部材の最適断面設計，土木学会論文集，第362号／I-4，pp. 313~322, 1985.
- 12) 大久保禎二・谷脇一弘：Dual Approach によるトラス部材の最適鋼種の決定法について，構造工学論文集，Vol. 31A, pp. 251~262, 1985.
- 13) 小西保則：Suboptimization を用いた骨組構造物の実用的最適設計法に関する研究，土木学会第39回年次学術講演概要集，1984.
- 14) Powell, M. J. D. : A Fast Algorithm for Nonlinearly Constrained Optimization Calculations, Report DAMTP77/NA2, University of Cambridge, England, pp. 144~157, 1984.